Aus der Neurologischen Klinik und Poliklinik
der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. J. Hirschmann

REINNERVATION VON THENAR–MUSKELN ÜBER FASERN DES NERVUS ULNARIS NACH SCHWERER MEDIANUS–SCHÄDIGUNG

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Ulrich Ott
aus Ulm / Donau

1974

Aus der Neurologischen Klinik und Poliklinik
der Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. J. Hirschmann

REINNERVATION VON THENAR–MUSKELN ÜBER FASERN DES NERVUS ULNARIS NACH SCHWERER MEDIANUS–SCHÄDIGUNG

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Klinische Medizin
der Eberhard - Karls - Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Ulrich Ott
aus Ulm / Donau

1974

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof.Dr. E. Körber

Berichterstatter: Prof.Dr.Dr. K. Mayer

INHALTSÜBERSICHT

A - PROBLEMSTELLUNG UND HISTORISCHER ABRISS 1

B - MATERIAL UND METHODIK
- 1) Durchführung der Untersuchungen 3
- 2) Verwendete Geräte 3
- 3) Nervenstimulierung 3
- 4) Ableitung der Muskel-Aktionspotentiale 4
- 5) Wahl und Ausmessung der Potential-Parameter 7

C - ERGEBNISSE
- 1) Allgemeine Ergebnisse 10
- 2) Mehrdimensionale Potentialdauer(mdPD) im Seitenvergleich 10
- 3) Durchschnittliche Potentialdauer 12
- 4) Phasenzahl 13
- 5) Zusammenfassung der Ergebnisse 15

D - DISKUSSION
- 1) Methodische Einschränkungen 16
- 2) Bemerkungen zur Anatomie 19
- 3) Re - Innervation 21
- 4) Diskussion der Ergebnisse 22
- 5) Schlussfolgerung 25

E - ZUSAMMENFASSUNG 26

LITERATUR - VERZEICHNIS 27

ANHANG 32

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546528_0009

A - PROBLEMSTELLUNG UND HISTORISCHER ABRISS

Bei Patienten mit hochgradiger Medianus-Parese bzw. -Paralyse ergibt der klinische Befund häufig eine kaum ausgeprägte Atrophie der Thenar-Muskulatur, sowie eine nur geringfügige Einschränkung der Daumen-Funktion, auch wenn das Stimulations-Elektromyogramm (EMG) zur Sicherung der Diagnose einen kompletten Leitungsblock des N.medianus vermuten lässt. Über gleiche Beobachtungen wird in der Literatur berichtet und es werden deren Ursachen diskutiert (2o,38,43).
Grundsätzlich kann dieser Befund durch zwei verschiedene anatomische Gegebenheiten erklärt werden:

1) Anomalien der Innervation

   Alle Autoren, die sich mit dem unerwartet guten funktionellen und trophischen Zustand der Thenar-Muskulatur nach Medianus-Läsion befasst haben, geben als Erklärung dafür eine anomale Innervation an. MARINACCI (34,35) berichtete 1964 sogar von einer "all median hand" und erwähnt auch das Vorkommen einer rein vom N.ulnaris innervierten Hand.
   Überhaupt werden Innervations-Anomalien, insbesondere der kleinen Handmuskeln in der Literatur als nicht seltenes Ereignis dargestellt (17,20,21,34,35,38,39,43)

2) Re-Innervation durch unmittelbar benachbart liegende Äste des N.ulnaris

   HARREVELD (13,14) und HOFFMANN,H. (19) wiesen die Re-Innervation von experimentell denervierten Muskelfasern und ganzen motorischen Einheiten durch Aussprossen von benachbart liegenden intakten Nervenfasern nach und auch bei WOHLFART (50,51) wird die Möglichkeit des "collateral branching" betont.
   Für das hier behandelte Problem wird die Möglichkeit einer Re-Innervation bisher in der Literatur nicht in Erwägung gezogen.

Die Stimulations-Elektromyographie mit Oszillograph und supramaximaler Reizung wurde 1941 von HARVEY and MASLAND (16) als diagnostisches Hilfsmittel in die Klinik eingeführt. MURPHEY et al. (38) untersuchten 1946 bei Fällen von Medianus-Läsion die Innervations-Verhältnisse der Thenar-Muskulatur während der chirurgischen Revision mithilfe von Nerven-Stimulation. Erstmals hat dann HOPF (2o) im Jahre 1963 mit einer Methode, die der von uns angewandten ähnlich ist, eine irreguläre Innervation der Thenar-Muskulatur in Fällen von Medianus-Läsion gefunden. Über Einzelheiten und Modifikationen der Technik des Stimulations-EMG berichten HODES et al. (19), DESMEDT (7), HOPF (20) und andere Autoren (12,25,30,36,37,39,47,49). Zur Frage der Ableittechnik bemerkt DESMEDT (7), daß die Oberflächenableitung ein "électromyogramme globale" ergibt, da Oberflächenelektroden "in einer sehr homogenen Weise von der Gesamtzahl der aktivierbaren Muskelfasern beeinflußt" würden. Hautelektroden erfassen zudem immer die frühzeitigsten Potentialänderungen (2o,36).

Durch die vorliegende Arbeit soll mithilfe der Technik der Stimulations-Elektromyographie und Oberflächen- Ableitung geklärt werden, ob für Teile der Thenar-Muskulatur nach ihrer Abtrennung vom N.medianus, eine Re-Innervation über den N.ulnaris angenommen werden kann. Hierbei wurde versucht, durch "mehrdimensionale Ableitung" zusätzliche Informationen zu erhalten, wie dies auch in neueren Arbeiten (26,27) über räumliche Verteilung von Muskel-Aktionspotentialen (MAP) angestrebt wird.

B - MATERIAL UND METHODIK

1. Durchführung der Untersuchungen

Untersucht wurden 12 Patienten (5 Frauen, 7 Männer) im Alter von 21 - 71 Jahren, bei denen eine unilaterale Medianus-Läsion (zumeist traumatischen Ursprungs) elektromyographisch nachgewiesen war. Dabei lag das schädigende Ereignis in allen Fällen mindestens bzw. länger als 2 Monate zurück. Die Untersuchungen wurden in einem Raum mit Zimmertemperatur durchgeführt. Dabei lagen die Patienten ausgestreckt auf einem Untersuchungsbett und wurden angewiesen, nach Anlegen der Elektroden, Arme und Hände locker und in einer Zwischenstellung zwischen Pro- und Supination neben den Körper zu legen.

2. Verwendete Geräte

Zur elektrischen Nervenreizung und zur Aufzeichnung der Muskel-Aktionspotentiale wurden verwendet:

- DISA 3-Kanal-Elektromyograph 14 A 30 mit eingebautem Kamerateil zur simultanen Registrierung
- Zwei voneinander unabhängige DISA Stimulator-Einheiten vom Typ 14 E 10
- DISA Hautelektrode 13 K 60 oder DISA Oberflächenelektrode 13 K 62 zur Nervenreizung
- HELLIGE Klebeelektrode für Dauergebrauch (Ag/AgCl) zur Ableitung der Muskel-Aktionspotentiale
- Registrierpapier, entweder zur Normal- oder zur Schnell-Entwicklung.

3. Nervenstimulierung

Der N.medianus bzw. N.ulnaris wurde mithilfe von bipolaren Oberflächenelektroden supramaximal stimuliert. Dabei betrug die Stimulationsfrequenz 1 Hz und die Reizdauer 0,2 msec (manchmal 0,5 msec).

In den meisten Fällen wurde distal und proximal stimuliert, bei allen Patienten jedoch bilateral, um einen Vergleich zwischen der erkrankten und der gesunden Extremität anstellen zu können.
Zunächst wurden N.medianus und N.ulnaris einzeln gereizt: dadurch konnte im Seitenvergleich ein Leitungsblock oder eine Diskontinuität des Nerven diagnostiziert werden. Darüberhinaus wurden auch beide Nerven simultan stimuliert unter der Vorstellung, daß das hierbei erhaltene MAP Elemente sowohl der vom N.medianus, als auch der vom N.ulnaris innervierten Anteile der Thenar-Muskulatur enthalten müsse.
Der N.medianus wurde distal neben der Sehne des M.palmaris longus, proximal im sulcus bicipitis der Ellbeuge gereizt; der N.ulnaris distal neben der Sehne des M.flexor carpi ulnaris, proximal in seinem Knochenkanal am epicondylus humeri medialis.
In allen Fällen wurde bei mäßiger Reizamplitude die Lage der Reizelektroden so lange verändert, bis das Potential auf dem Oszillographen am größten war. Dann wurde die Reizspannung so lange heraufgesetzt, bis eine weitere Erhöhung keine offensichtliche Änderung der Reizantwort mehr hervorrief. Dieses Verfahren entspricht dem Vorgehen verschiedener Autoren (16,18,20,25,30,37).
Auf die Polarität der Reizelektroden wurde in unserer Untersuchung keine Rücksicht genommen, da dies nach GASSEL (12) und TROJABORG (49) keinen Einfluß auf die Morphologie der Antwortpotentiale hat. Die Reizamplitude lag zwischen 150 und 350 Volt, nur selten mußte sie wegen hoher Hautwiderstände darüberhinaus erhöht werden.

4. Ableitung der Muskel-Aktionspotentiale

Die HELLIGE Klebeelektroden von ca. 8 mm Durchmesser wurden mit Kleberingen befestigt. Die Haut wurde nicht besonders vorbehandelt, jedoch wurde mit Elektrodenpaste die

Leitfähigkeit verbessert.
Insgesamt wurden 4 Elektroden nach Art eines Tetraeders über dem Muskelmassiv des Daumenballens angebracht (Abb.1) und zwar in folgender Anordnung:

Elektrode 1 : Über der Sehne des M.flex.carpi radialis
2 : Am medialen Rand des M.flex.poll.brev.
3 : Am radialen Rand des M.abd. poll.brev.
4 : Über den Mm add.poll. et interosseus I, zwischen dig.I und dig.II.

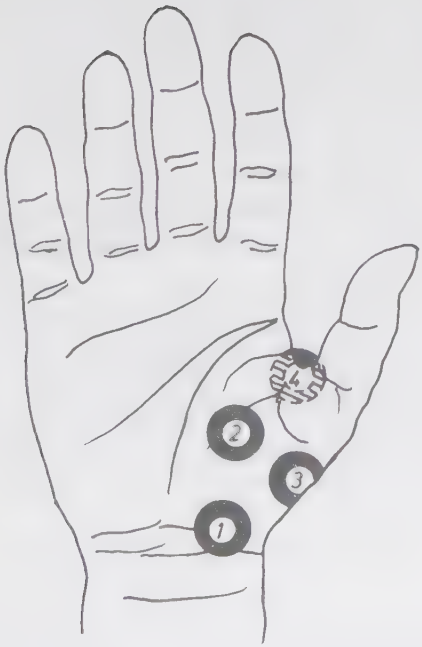

Abb.1:
Lage der Ableitelektroden

Diese Elektroden-Position entspricht ungefähr der Lage des "nervösen Äquators" (PIPER,42), d.i. die Stelle eines Muskels, an der sich die meisten motorischen Endplatten

befinden (cf. DESMEDT,7). Genaue Abstandsmessungen wurden nicht vorgenommen, die Lage der Elektroden wurde durch Palpation der betreffenden Muskeln bestimmt.
Über einen Vielfach-Wahlschalter der Firma DISA konnten die Potential-Differenzen zwischen je zwei Elektroden (bipolare Ableitung) gemessen und aufgezeichnet werden, sodaß man für jede Stimulation 6 verschiedene Potentiale erhielt. Drei-Kanal-Oszillograph und Schaltmöglichkeiten erlaubten eine Aufzeichnung aller sechs Potentiale bei drei verschiedenen Schalterstellungen.
Die Ableitungen 1-2, 1-3 und 1-4 entsprechen der "belly-tendon"-Anordnung (7,16,18), wobei Elektrode 1 als "indifferente", die Elektroden 2, 3 und 4 als "differente" angesehen werden können. Die weiteren, über Ableitungen 2-3, 3-4 und 4-2 gewonnenen Potentiale sollten dabei die elektrische Aktivität der Thenar-Muskulatur umfassender zur Darstellung bringen und die dreidimensionale Ausdehnung des untersuchten Muskelmassivs mitberücksichtigen, wie dies auch in neueren Arbeiten über räumliche Elektromyographie versucht worden ist (26,27).
Die dargestellte Anordnung der Elektroden wurde auch unter der Vorstellung gewählt, daß damit nach Nervenreizung die allerersten und allerletzten elektromyographischen Veränderungen innerhalb des untersuchten Muskelmassivs mit großer Sicherheit erfasst werden können. Bipolare Ableitung ergibt außerdem nach PINELLI (zit. nach 20) die besten Ergebnisse.
Um Einstreuungen vom Lichtnetz oder von elektrischen Maschinen zu vermeiden, wurde die jeweils untersuchte Extremität mit einer Erdelektrode versehen, bestehend aus einem ca. 20 cm langen, in eine Textilhülle gefassten Bleiband, das angefeuchtet und mit einem Klettenverschluß um den Oberarm gelegt wurde.
Es wurde je nach Größe des Antwortpotentials mit Verstärkungen zwischen 2 und 10 mV/div (div = Einheit auf dem Oszillographenschirm) aufgenommen. Die Kippgeschwindigkeit betrug in allen Fällen 10 msec/div.

5. Wahl und Ausmessung der Potential-Parameter

In der Literatur wird die Potential-Dauer als sehr verlässlicher Parameter bezeichnet (9,31), der zudem Rückschlüsse auf die anatomischen Verhältnisse zulässt (11, 47). In der vorliegenden Untersuchung wurde daher die Potential-Dauer als wichtigster Parameter, daneben noch die Phasenzahl als Vergleichsparameter bestimmt.

Gewisse Schwierigkeiten bei der Messung der Potential-Dauer bereitet die Bestimmung von Potential-Anfang bzw. -Ende. Zwei Möglichkeiten zur Bestimmung der Potential-Dauer werden beschrieben:

a) Länge der Basis des ersten (negativen) spike:

   Dieser beginnt mit der initialen Abweichung des Potentials von der Grundlinie und endet mit dem ersten Überschreiten der Grundlinie. Die Dauer des spike ist damit eine gut definierte Größe (DESMEDT et coll.,7, 8; JASPER et coll., zit. nach 1o).

b) Dauer des gesamten Potentials:
   Der Beginn des Potentials wird wie bei a) festgelegt und ist gewöhnlich gut definiert. Zur Festlegung des Potential-Endes, dessen Lage aus verschiedenen Gründen (s.unten) nicht immer ganz eindeutig ist, wird eine willkürliche Methode empfohlen, die - uniform angewendet - bei vergleichbaren Messungen zufriedenstellende Ergebnisse garantiert (BUCHTHAL et al.,2,3; PETERSÉN et coll.,41).

Die Messung der gesamten Potential-Dauer wird in der Literatur als zuverlässiger bezeichnet (2,3,41), und ist daher in unserer Untersuchung angewendet worden.
Bei der Bestimmung der Potential-Dauer wurde folgendermaßen vorgegangen (Abb.2) :

I. Markierung des Reizartefakts (A)
II. Markierung des Potential-Beginns an der initialen Abweichung des Potentials von der Grundlinie (B)
III. Markierung des Potential-Endes:
Die Stelle, an der die Potential-Kurve zum letzten Mal vor Erreichen der Grundlinie eine Steigung von mindestens $=\pm 1$ aufweist, wird als Potential-Ende definiert (E)

Mithilfe dieser Methode lässt sich für jedes einzelne Potential mit guter Genauigkeit und Reproduzierbarkeit seine Dauer bestimmen, die im Folgenden "eindimensionale Potentialdauer" (edPD) genannt wird.

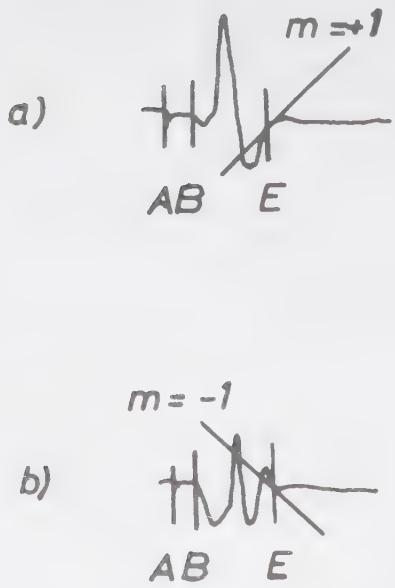

Abb.2:
Bestimmung der Potential-Dauer
a)bestimmende Tangente mit positiver Steigung m=+1
b)bestimmende Tangente mit negativer Steigung m=-1
A = Reizartefakt
B = Potential-Beginn
E = Potential-Ende

Der Beginn elektrischer Aktivität in der Thenar-Muskulatur nach Stimulation, kann an verschiedenen Ableitorten mit einer gewissen zeitlichen Verschiebung erfolgen. Um nun ein Bild von der gesamten, "räumlich verteilten" elektrischen Aktivität in der Thenar-Muskulatur zu erhalten, kann man die allerersten und die allerletzten Potentialänderungen nach Stimulation des jeweiligen Nerven in einem rechnerischen Wert darstellen: Innerhalb der Gruppe von sechs Potentialen, die man nach Stimulation von entweder N.medianus oder N.ulnaris erhält, wurde daher die Differenz gebildet zwischen der kürzesten gemessenen Latenzzeit (Strecke AB_{min}) und der längsten Kurvendauer (Strecke AE_{max}). Diese Differenz wird im Folgenden als "mehrdimensionale Potentialdauer" (mdPD) bezeichnet und im Seitenvergleich, bzw. im Vergleich mit den edPD betrachtet.

Die Messungen wurden auf dem Original-Registrierpapier mit einem GEO-Dreieck durchgeführt. Nach Unterlagen der Firma DISA entsprechen auf dem Registrierpapier in der Abszisse 10 mm = 10 msec.

Ein Beispiel für die Bestimmung von edPD und mdPD zeigt Abb.5 im Anhang.

C - ERGEBNISSE

1. Allgemeine Ergebnisse

Von jedem Patienten wurden 18 Potentiale ausgewertet: die distale Stimulation des N.medianus der gesunden Hand, des N.ulnaris der gesunden Hand, sowie des N.ulnaris der kranken Hand lieferte jeweils 6 Antwortpotentiale (in 1 Fall konnte aus technischen Gründen nur die Reizantwort der proximalen Stimulation ausgewertet werden).
Die Amplituden der ausgewerteten Potentiale lagen - unter Berücksichtigung der verschiedenen Verstärkungsstufen - im Bereich von 1,2 bis 16 mV.
Bei 3 Patienten konnte nach distaler Stimulation des N.medianus der erkrankten Seite ein Potential abgeleitet werden, jedoch kann daraus nur in 1 Fall auf eine weitgehende Regenerierung des verletzten N.medianus geschlossen werden. Ferner wurde nur in 1 Fall ein Potential nach proximaler Stimulierung aufgezeichnet, dabei wurde aber auch nach distaler Stimulierung ein Antwortpotential registriert.
Insgesamt wurden 216 Potentiale nach Dauer und Phasenzahl bestimmt

2. Mehrdimensionale Potentialdauer (mdPD) im Seitenvergleich

Um eine Antwort auf die Fragestellung zu erhalten, ob nach Medianusläsion eine Re-Innervation über den N.ulnaris angenommen werden kann, wurden die Ulnaris-Antwortpotentiale der erkrankten bzw. der gesunden Seite miteinander verglichen. In Tab.1 finden sich die Werte der mdPD nach Stimulierung der Nn ulnares beider Seiten (Spalte B und C), sowie die absolute (Spalte D) und relative (Spalte E) Abweichung der Werte auf der erkrankten Seite von denen der gesunden Seite. Zur Ergänzung werden ferner die mdPD der Medianus-Antwortpotentiale der gesunden Seite angegeben (Spalte A).

Pat.	A Medianus gesund (msec)	B Ulnaris gesund (msec)	C Ulnaris krank (msec)	D C - B (msec)	E C - B (%)
C.M.	12,0	12,5	12,5	0	
J.S.	10,0	10,0	10,0	0	
T.M.	11,0	10,5	10,0	-0,5	
E.K.	10,0	8,0	9,5	+1,5	+19%
O.B.	11,5	11,0	11,0	0	
C.S.	12,5	12,0	12,0	0	
B.D.	9,5	10,5	10,5	0	
H.H.	10,0	9,5	11,5	+2,0	+21%
E.F.	8,0	7,5	9,5	+2,0	+26%
S.A.	12,5	11,0	11,0	0	
H.S.	10,5	8,5	10,0	+1,5	+18%
M.M.	9,0	9,5	12,0	+2,5	+26%

Tab.1: Zusammenstellung der mdPD (Spalte A-C) In Spalte D und E ist die absolute bzw. relative Abweichung zwischen den Ulnaris-Antwortpotentialen der kranken bzw. der gesunden Seite angegeben.

Es ergibt sich also folgendes Bild:

a) Bei sechs Patienten konnte keine Seitendifferenz der mdPD registriert werden.

b) Bei 5 Patienten war die mdPD der erkrankten Seite um ≥ 1,5 msec verlängert gegenüber der gesunden Seite, davon in 3 Fällen um ≥ 2 msec. Die relative Zunahme der mdPD der erkrankten Seite bei allen 5 Fällen lag im Bereich zwischen +18% und +26%.

c) In einem Fall wurde eine geringfügige Abnahme der mdPD der erkrankten Seite registriert (-0,5 msec), die jedoch innerhalb der Messungenauigkeit liegt.

Eine vergleichende Betrachtung der mdPD nach Stimulation des N.medianus der gesunden Seite ergibt folgende Werte:

Gegenüber den mdPD der Ulnaris-Antwortpotentiale auf der gleichen (gesunden) Seite wiesen die mdPD der Medianus-Antwortpotentiale zu 66% keine abweichenden Werte auf, oder waren nur innerhalb der Messungenauigkeit verändert. In drei Fällen waren die mdPD der Medianus-Antwortpotentiale um ≧ 1,5 msec länger, in einem Fall um 1,0 msec kürzer, als die der gleichseitigen Ulnaris-Antwortpotentiale.

3. Durchschnittliche Potential - Dauer

a) Eindimensionale Potentialdauer (edPD)

Betrachtet man alle ausgewerteten Potentiale unabhängig voneinander und bildet Mittelwerte der gemessenen Potential-Dauern, so ergibt sich folgende Verteilung:

Medianus, gesund N = 71* (msec)			Ulnaris, gesund N = 72 (msec)			Ulnaris, krank N = 72 (msec)			Gesamt N=215* (msec)
min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$	$\bar{x}$
5,5	12,5	8,75	5,5	12,5	8,71	6,0	12,5	9,24	8,90

Tab.2: Mittelwerte ($\bar{x}$) der edPD, aufgeschlüsselt nach ihrer"nervösen Herkunft".
*): 1 Potential konnte hinsichtlich seiner Dauer nicht eindeutig bestimmt werden.

b) Mehrdimensionale Potentialdauer

Eine Mittelwertsbildung aus den Werten der mdPD zeigt folgendes Bild (Tab.3; Bezeichnungen wie in Tab.2):

Medianus gesund N = 12			Ulnaris gesund N = 12			Ulnaris krank N = 12		
min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$	min	max	$\bar{x}$
8,0	12,5	10,54	7,5	12,5	10,04	9,5	12,5	10,79

Obwohl die in a) bzw. b) angewandten Methoden zur Berechnung einer mittleren Potential-Dauer ($\bar{x}$) sich wesentlich voneinander unterscheiden, weisen die errechneten Mittelwerte doch mindestens eine gemeinsame Tendenz auf:
Die längste mittlere Potential-Dauer ergibt sich in jedem Falle nach Stimulation des N.ulnaris der erkrankten Seite.

Es zeigt sich ferner, daß die mittlere Potential-Dauer der Medianus-Antwortpotentiale sowohl für die edPD, als auch für die mdPD etwas über denen der gleichseitigen Ulnaris-Antwortpotentiale liegen.
Die in unserer Untersuchung gefundenen Absolut-Werte liegen allerdings insgesamt etwas niedriger, als in der Literatur berichtet (cf. HOPF,20).

4. Phasenzahl

Eine Betrachtung der Phasenzahl aller ausgewerteten Potentiale zeigt, daß 79% bi- und triphasisch sind (Abb.3). Dieser Befund entspricht den Angaben der meisten Autoren (9,39,41,49), und stimmt sogar sehr gut überein mit einem Zahlenwert von BUCHTHAL (2), der bi- und triphasische Potentiale in ca. 80% der Fälle gefunden hat.

Abb.3:
Verteilung aller ausgewerteten 216 Potentiale nach ihrer Phasenzahl.
Abszisse:
2 = biphasisch
3 = triphasisch
P = polyphasisch
Ordinate:
N = Anzahl der Potentiale.

Monophasische Potentiale wurden in unserer Untersuchung nicht gefunden. Potentiale, die 4 oder mehr deutliche Gipfel aufwiesen, wurden als polyphasisch bezeichnet.

Schlüsselt man die Potentiale nach ihrer "nervösen Herkunft" auf (Abb.4 a-c), so zeigt sich, daß die einfach strukturierten biphasischen Potentiale bei Ableitung von der gesunden Hand (N.medianus und N.ulnaris) weit in der Überzahl sind (> 55%). Dagegen sinkt der Anteil der biphasischen Potentiale bei den Ableitungen von der erkrankten Hand (N.ulnaris) auf 42%, während dort die Anzahl der polyphasischen Potentiale ihren höchsten Wert erreicht.

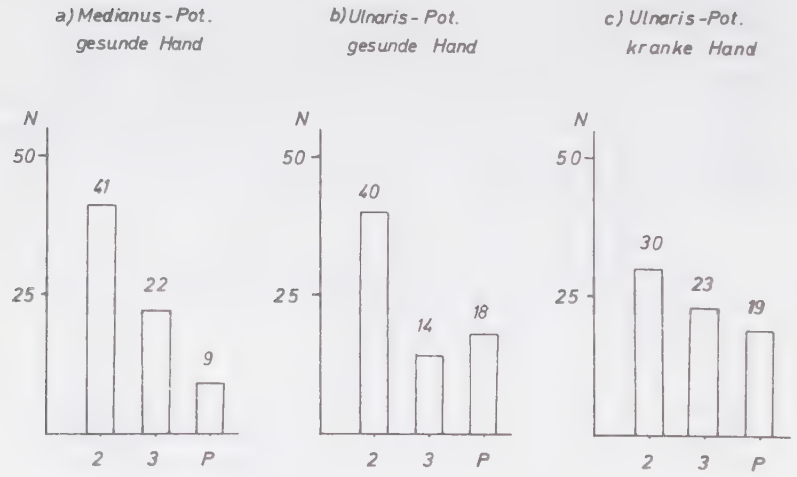

Abb.4: Phasenzahl der Potentiale aufgeschlüsselt nach ihrer "nervösen Herkunft". Bezeichnungen wie in Abb.3.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

a) Die mehrdimensionalen Potentialdauern nach Ulnaris-Stimulation der erkrankten Seite waren bei 5 Patienten gegenüber der gesunden Seite deutlich verlängert, d.h. zwischen +18% und +26%.

b) Die Mittelwerte aller eindimensionalen Potentialdauern, die nach Stimulierung des N.ulnaris der erkrankten Seite registriert wurden, sind ebenso, wie die der analogen mehrdimensionalen Potentialdauern deutlich erhöht im Vergleich zu Werten, die von der gesunden Seite herstammen, und zwar sowohl vom N.medianus, als auch vom N.ulnaris.

c) Auf der erkrankten Seite war die Zahl der biphasischen Potentiale deutlich vermindert, dagegen stieg dort die Zahl der polyphasischen Potentiale.

D - DISKUSSION

1. Methodische Einschränkungen

a) Untersuchungsbedingungen

Die Lage der Ableitelektroden wurde in unserer Untersuchung durch Palpation der betreffenden Muskeln bestimmt. Eine Objektivierung der Kriterien und bessere Reproduzierbarkeit ließe sich jedoch - auch unter Berücksichtigung individueller anatomischer Unterschiede - erreichen, wenn man durch Messungen auf der Haut die Abstände von Elektrode zu Elektrode bei allen untersuchten Personen konstant hielte. Dies umso mehr, wenn man ein"räumliches elektromyographisches Bild" zu erhalten versucht, wie es in einer neueren Arbeit von KRAMER et al. (27) gezeigt wird.
Der Einfluß der Temperatur auf die Potentialdauer wird unterschiedlich beurteilt (7,33), jedoch könnten sich Seitendifferenzen in der Temperatur der Extremitäten nachteilig auf die Vergleichbarkeit auswirken. In unserer Untersuchung hielten sich die Patienten bis zum Beginn der eigentlichen Messung ca. 15 Minuten in einem temperierten Raum auf, sodaß zumindest grobe Seitendifferenzen in der Extremitäten- Temperatur ausgeschlossen werden konnten.

b) Artefakte

Sogenannte H- oder F-Reflexe könnten die Bestimmung der Potential-Dauer erschweren, jedoch sind bei distaler Stimulation die Leitungswege zu lang, als daß derartige Reflexe sich störend mit den M-Potentialen vermengen könnten (9).
Bewegungsartefakte können entstehen, wenn es nach der provozierten Muskelkontraktion zu einer Ortsveränderung der Extremität kommt (22). Stimuliert wurde allerdings bei entspannter Muskulatur und nur mit Einzelreizen, sodaß

kontraktionsbedingte Potentialveränderungen, wie z.B. bei tetanischen Reizfolgen,nicht möglich waren. Die geringen Ortsveränderungen selbst könnten sich eventuell durch eine Fixierung der untersuchten Extremität vermindern lassen.

c) Auswertung der Potentiale

Über die Bestimmung verschiedener Potential-Parameter und deren Aussagekraft sind die Angaben in der Literatur uneinheitlich und zum Teil widersprüchlich. Einmütigkeit besteht allerdings darüber, daß die Potential-Amplitude kein zuverlässiger Parameter ist, da sie von zu vielen äußeren Faktoren abhängt (9,20,31,39,47). Dagegen wird die Potential-Dauer als sehr zuverlässiger Parameter bezeichnet (9, 31). Einige Autoren sehen geradezu einen linearen Zusammenhang zwischen Größe des Muskels und Dauer des Aktions-Potentials (11,47), und es ist sogar eine mathematische Formulierung der Potentialdauer in Abhängigkeit von verschiedenen Variablen versucht worden (4).
Die wenigsten Autoren berichten, wie sie die Potential-Dauer bestimmt haben. Umstritten ist die Bedeutung der Potentialanteile nach dem ersten spike. So betont z.B. DESMEDT (7,8) die komplexe Natur ihrer Entstehung und verzichtet daher auf die Auswertung der späten Potentialanteile. Jedenfalls bereitet die Bestimmung des Potential-Endes gewisse Schwierigkeiten. Die Wahl der hier angewandten Methode zur Festlegung des Potential-Endes geschah unter der Vorstellung, daß die Strecke einer asymptotisch, bzw. mit sehr geringer Steigung erfolgenden Annäherung an die Grundlinie nicht mehr als Ausdruck elektrischer Aktivität gewertet werden kann. Dagegen dürfte ein "Knick", wie er durch eine letztmalige Kurvensteigung von mindestens = ± 1 entsteht, eventuell als das eigentliche Ende der mit Oberflächenelektroden registrierten elektrischen Muskelaktivität betrachtet werden. Auf jeden Fall konnte damit eine einheitliche Bewertung der Potential-Länge ge-

währleistet werden. Dabei ist allerdings auf ausreichende Verstärkung zu achten, da andernfalls manche eindeutigen "Knicke" in der Potential-Kurve abgeflacht und die Interpretation der späten Potentialanteile erschwert werden können, wie sich bei unseren Untersuchungen gelegentlich gezeigt hat.
Die Messgenauigkeit war bei der angewandten Methode vor allem durch zwei Faktoren eingeschränkt:

1) Die Ablesegenauigkeit des verwendeten GEO-Dreiecks kann mit bestenfalls 0,5 mm angenommen werden.
2) Die "Strichdicke" mancher Potentiale betrug nahezu 1 mm.

Daraus folgt, daß im Seitenvergleich nur Differenzen von wenigstens 1,5 mm (≙ 1,5 msec) bewertet werden konnten. Geringere Differenzen wurden als innerhalb der Meßungenauigkeit liegend betrachtet.

Zur Berechnung der Werte für die mdPD wurden jeweils sechs verschiedene Potentiale herangezogen, die ihrerseits die Antwort auf drei verschiedene, sukzessive verabfolgte Reize waren. Da jedoch während der Umschaltung auf die gewünschten Ableitungen Reizamplitude und -dauer konstant blieben, dürfte dies keine Einschränkung für die Berechnungsmethode der mdPD bedeuten.
Auf die Auswertung der "Simultan-Potentiale", die durch simultane, unilaterale Stimulation des N.medianus und des N.ulnaris der gesunden Hand entstanden, wurde verzichtet. Aufgrund des verschiedenen Vorlaufs der beiden unabhängigen Stimulator-Einheiten war eine Synchronisierung beider Stimuli nur annähernd möglich. Die Stimulus-Artefakte erscheinen auf dem Registrierpapier in einem Abstand von ca. 1 msec, sodaß die erwünschte exakte Superposition beider Potentiale nicht angenommen werden kann.

d) Automatische Auswertung

Eine manuelle Auswertung der Potentiale ist natürlich von

manchen zufälligen und systematischen Fehlern begleitet. Neuere Arbeiten über die automatische Auswertung von EMG-Potentialen (1,28,31,32,33) weisen den Weg für eine objektivere und weniger zeitraubende Ausmessung und Bewertung, auch von Stimulations-Elektromyogrammen.

2. Bemerkungen zur Anatomie

a) Lehrbuchmässige Darstellung

Für die Innervations-Verhältnisse der untersuchten Thenar-Muskulatur findet man in den Lehrbüchern gewöhnlich folgende Darstellung (45,46):

M.abd.poll.brev. - N.medianus
M.opponens poll. - N.medianus
M.flex.poll.brev.
cap.supf. - N.medianus
cap.prof. - N.ulnaris,Ram.prof.
M.add.pollicis - N.ulnaris,Ram.prof.

Das Vorkommen von Anastomosen zwischen dem N.medianus und dem N.ulnaris am Unterarm und in der Hohlhand wird berichtet. Zur Aufteilung des N.ulnaris in der Hohlhand wird vermerkt:"Nicht selten werden durch eine Verbindung zum N.medianus Hilfsinnervationen für die übrigen Muskeln des Daumenballens abgegeben" (CLARA,5).

b) Innervations-Anomalien

Das Vorkommen von Innervations-Anomalien ist natürlich für das behandelte Problem von großer Bedeutung: Liegen nämlich irreguläre Verhältnisse im Sinne von kongenitalen Anomalien bzw. Varietäten vor, so können motorische Versorgungsgebiete in ihrer Ausdehnung nur dann mit elektromyographischen Methoden sicher abgegrenzt werden, wenn gleichzeitig autoptische Befunde vorliegen. Insbesondere für die kleinen Handmuskeln werden Innervations-Anomalien in der Literatur als nicht seltenes Ereignis dargestellt (17,20,21,34,35,39,43). Bereits 1886

soll BROOKS (zit. nach 44) unter 30 Obduktionen eine "all ulnar hand" gefunden haben. Über weitere Ergebnisse, die aus Autopsie-Befunden stammen, findet sich bei SEDDON (44) eine detaillierte Literaturübersicht.

Während der chirurgischen Revision von 551 Fällen von Medianus-Läsion, fanden MURPHEY et al. (38) unter Anwendung von Nerven-Stimulation 1 Fall, in dem der M.opponens pollicis vom N.ulnaris innerviert wurde. ROWNTREE (43) berichtete über 102 Fälle von Medianus-Läsion, in denen die Diskontinuität durch Inspektion und direkte Stimulation gesichert war. Mithilfe einer Methode, die sich auf klinische Untersuchung und Messung der Muskelkraft stützt, fand der Autor ein ganzes Spektrum von Innervations-Anomalien, das von der totalen motorischen Versorgung durch den N.ulnaris ("all ulnar hand"), bis zur fast völligen Innervation über den N.medianus reicht.
HOPF berichtet von 3 Fällen, in denen er elektromyographisch nachweisen konnte, daß der "Musculus abductor pollicis und der Musculus extensor pollicis brevis ganz überwiegend vom N.ulnaris versorgt wurde" (20), und auch GASSEL (12) hat in 3 Fällen elektromyographisch den M.abd.poll. brev. vom N.ulnaris innerviert gefunden. Zur Erklärung des Befundes wird u.a. angegeben, "am häufigsten begegnet man der Situation, daß der motorische Anteil des N.medianus unterhalb des Ellbogens als sog. MARTIN-GRUBER-Anastomose abzweigt, sich mit dem N.ulnaris vereinigt und mit diesem Nerven unter dem ligamentum carpi transversum verläuft"(21).

Mithilfe der Stimulations-Elektromyographie hat MARINACCI (34,35) 303 Fälle von Medianus-Läsion untersucht. In 2 Fällen hat er die Diagnose "all ulnar hand" gestellt und sie mit einer Anastomose zwischen N.medianus und N.ulnaris am Unterarm erklärt. Weiter behauptet MARINACCI, nur in ca. 50% liege eine lehrbuchmässige Innervation der kleinen Handmuskeln vor, und in ca. 5% finde man eine "striking variation" in dem genannten Innervationsgebiet.

3. Re-Innervation

Alle Autoren, die bei Medianus-Läsionen einen unerwartet guten trophischen und funktionellen Zustand der Thenar-Muskulatur beobachtet und beschrieben haben, erklären dies mit Innervations-Anomalien des N.medianus bzw. des N.ulnaris im Sinne von kongenitalen Varietäten. Die Autoren verwenden zur Beweisführung entweder rein klinische Methoden (z.B. ROWNTREE,43), oder elektromyographische Untersuchungen (z.B. HOPF,20). Jedoch wird in der Literatur in diesem Zusammenhang eine Re-Innervation durch den eng benachbarten N.ulnaris nicht in Erwägung gezogen.

Bereits 1884 hat EXNER (zit. nach 13) anhand von Versuchen mit Kaninchen die Vermutung geäußert, daß Re-Innervationsvorgänge nach Denervierung auftreten können. In neuerer Zeit sind Versuche von HARREVELD (13,14,15) angestellt worden, bei denen nach partieller Denervierung in allen Fällen eine Re-Innervation durch "collateral branching" beobachtet werden konnte. Bereits zwei Wochen nach experimenteller Denervierung konnte eine Besserung der Muskelfunktion registriert werden. HARREVELD (13) diskutiert die Möglichkeit, daß eine motorische Neuinnervation auch von umgebenden Nerven erfolgen könne, und in einer neueren Arbeit (15) berichtet er, daß "collateral branching" jedenfalls nicht auf die terminalen Nervenästchen beschränkt sei. Die Ableitung elektromyographischer Potentiale zum Nachweis von Re-Innervationsvorgängen hat erstmals JASPER (24) angewendet.
Histologisch hat WOHLFART (50,51) nachgewiesen, daß die Erholung der Muskelkraft nach Denervierung auf ein Aussprossen von Kollateralen der noch intakten Nervenfasern zurückzuführen ist. Die Befunde sind beim Menschen bestätigt worden.

Im Experiment konnte bei partiell denervierten Muskeln regelmäßig eine Regeneration der Muskelkraft beobachtet, und histologisch, aussprossende Nervenfasern von benach-

barten Fasern des gleichen Nervenstammes gesichert werden. Es liegt daher die Vermutung nahe, daß auch von sehr eng benachbarten Fasern eines Nachbarnerven (in unserem Fall des N.ulnaris), ein Aussprossen und damit eine Re-Innervation der denervierten, zuvor vom N.medianus innervierten Muskelfasern zustande kommt.

4. Diskussion der Ergebnisse

Wollte man eine Re-Innervation über einen benachbarten Nerven zweifelsfrei nachweisen, so müßte man einen analogen elektromyographischen Befund der gleichen Person sowohl vor, als auch nach dem denervierenden Ereignis zur Verfügung haben. Dies dürfte jedoch nur unter ganz außergewöhnlichen Umständen zufällig möglich sein.
Als brauchbare Vergleichsgrundlage kann aber auch die gesunde analoge Extremität der Gegenseite angesehen werden wenn man symmetrische Verhältnisse hinsichtlich der Innervation unterstellt. Zumindest für die Extremitäten wird dies im allgemeinen angenommen. Keiner der oben angeführten Autoren hat bei seinen Untersuchungen von Innervations-Anomalien über Seitenvergleiche berichtet, und in der Literatur finden sich keine Hinweise dafür, daß hinsichtlich der Innervation signifikante Seitenunterschiede bei analogen Extremitäten bestehen.
Nur HARREVELD (13) stellt Seitenvergleiche über die Muskelkraft an und findet dabei keine signifikanten Unterschiede. Nach NORRIS (39) sind auch Unterschiede in der Leitungsgeschwindigkeit zwischen zwei analogen Extremitäten sehr gering.
Denkbar wäre nach unilateraler Medianus-Läsion eine Abnahme der Potentialgröße, wenn nach Unterbrechung der sensorisch-trophischen Nervenfasern eine Störung der Schweißsekretion und damit eine Veränderung der Leitfähigkeit an der erkrankten Hand auftritt. In diesem Falle würde man jedoch eher kleinere Potentiale auf der erkrank-

ten Seite erwarten. Größere Potentiale, wie sie in unserer Untersuchung gefunden wurden, müssten dagegen in ihrer Aussagekraft umso höher bewertet werden.

Nach dem bisher Gesagten dürften sich also bei symmetrischen Verhältnissen auch im elektromyographischen Bild keine deutlichen Seitenunterschiede zeigen. Dagegen hat man bei unilateralen anatomischen Veränderungen, wie sie z.B. auch durch eine Medianus-Läsion gegeben sind, auch mit elektromyographischen Änderungen im Seitenvergleich zu rechnen.

Nach HARVEY and MASLAND (16) lässt die Potential-Dauer eines Summenpotentials eine Differenzierung zu zwischen einer Änderung in der Zahl aktivierbarer Muskelfasern und einer Änderung der einzelnen Faserpotentiale: danach soll die Dauer des Summenpotentials auch bei Änderung einzelner Faserpotentiale konstant bleiben, wenn sich die Gesamtzahl der aktivierbaren Muskelfasern nicht ändert. Findet man also im Seitenvergleich analoger Potentiale deutliche Differenzen, sei es in einer Verlängerung, sei es in einer Verkürzung der Potential-Dauer, so kann nach unserer Ansicht daraus auf Seitenunterschiede im nervalen Versorgungsmuster geschlossen werden.

Eine Re-Innervation der vom N.medianus abgetrennten Muskelfasern über den N.ulnaris hat die Ausbildung von vergrößerten motorischen Einheiten zur Folge (9,39,51), die ihrerseits größere Potentiale hervorrufen würden, u.a. auch verlängerte Potential-Dauern (39,51). Eine Bestätigung dieser Ansicht erhält man auch, wenn man die oben zitierte Vermutung von HARVEY and MASLAND sinngemäß umkehrt: danach würde sich bei einer Erhöhung der Gesamt-Faserzahl die Potential-Dauer erhöhen müssen, wenn keine isolierte myogene Schädigung der einzelnen Fasern angenommen zu werden braucht. Untersuchungen von HOPF (20) zeigen zudem eine positive Proportionalität zwischen anatomischer Größe eines Muskels und der mit Oberflächenelektroden abgeleiteten Potential-Dauer.

Da auf der erkrankten Seite bei proximaler Stimulierung des N.medianus nur in einem Fall (hier aber auch bei distaler Stimulation) ein Antwortpotential beobachtet wurde, können Anastomosen am Unterarm, wie sie besonders von MARINACCI zur Erklärung der Befunde herangezogen werden, für unser Patientengut ausgeschlossen werden.

Bei 3 unserer Patienten war der Wert für die mdPD der kranken Seite um ≥ 2 msec verlängert gegenüber der gesunden Seite. Zumindest für diese drei Fälle scheint die Interpretation der Ergebnisse im Sinne einer Re-Innervation über den N.ulnaris gerechtfertigt. Die zwei weiteren Fälle, bei denen eine prozentuale Verlängerung der mdPD um 18% bzw. 19% errechnet wurde, können wohl ebenfalls vorsichtig in der gleichen Richtung interpretiert werden.

Bei der dargelegten Beweisführung kann zwar nur der Seitenvergleich beim gleichen Individuum eine gültige Antwort auf die behandelte Fragestellung geben. Die Errechnung von Mittelwerten der mdPD und der edPD, also von zwei ganz verschiedenen Grundgesamtheiten zeigt jedoch überraschend Übereinstimmung in einem Punkt: Die längste mittlere Potential-Dauer und sogar die längste minimale Potential-Dauer findet sich jeweils nach Stimulation des N.ulnaris der erkrankten Seite. Beide Mittelwerte, die für die Potential-Dauern der erkrankten Seite errechnet wurden, sind deutlich größer im Vergleich zu denen der gesunden Seite, und können deshalb als gewisse Stütze unserer Interpretation angesehen werden.

Die Aussagekraft der Phasenzahl als Potential-Parameter wird unterschiedlich beurteilt (40,48). Auch ist die Anzahl der Phasen in einem Potential von verschiedenen biologischen und methodischen Faktoren abhängig (8,20,23, 30,39). Bei WOHLFART (51) findet sich die Vermutung, daß polyphasische Potentiale auf Re-Innervationsvorgänge im Sinne eines "collateral branching" zurückzuführen seien, allerdings - so wird einschränkend vermerkt - nur kurz

nach dem Trauma. Unterschiedliche Länge der Nervenfasern und dadurch entstehende Laufzeitdifferenzen, die zur Polyphasie beitragen können, sind bei "collateral branching" jedenfalls sehr wahrscheinlich. Immerhin steht die Tatsache, daß polyphasische Potentiale absolut und relativ am häufigsten auf der erkrankten Seite gefunden werden, nicht im Widerspruch zu unserer Interpretation.

5. Schlußfolgerung

Es konnte wahrscheinlich gemacht werden, daß bei einzelnen Patienten mit Medianus-Läsion eine Re-Innervation der betroffenen Muskeln des Daumenballens über den benachbarten N.ulnaris erfolgt ist. Man könnte diesen Sachverhalt auch als "erworbene Innervations-Anomalie" beschreiben, im Gegensatz zu den bisher in der Literatur erwähnten Innervations-Anomalien, die als kongenitale Varietäten gewertet werden. Im Lichte der vorliegenden Untersuchung erhebt sich die Frage, ob nicht insbesondere diejenigen Innervations-Anomalien, die bei Personen mit vorangegangenen Nerven-Läsionen gefunden und in der Literatur beschrieben wurden, in Wirklichkeit als "erworbene Innervations-Anomalien" im Sinne eines Folgezustands nach Re-Innervation zu interpretieren sind.

E - ZUSAMMENFASSUNG

1) 12 Patienten mit unilateraler schwerer Medianus-Schädigung wurden auf die Frage untersucht, ob eine Re-Innervation der denervierten Thenar-Muskeln über Fasern des Nervus ulnaris angenommen werden kann.

2) Es wird eine elektromyographische Methode beschrieben, die mithilfe von indirekter Stimulation und Oberflächen-Ableitung Seitenvergleiche erlaubt.

3) Die Auswertung der Potential-Dauer als elektrophysiologischer Ausdruck der anatomischen Verhältnisse der Thenar-Muskulatur, lässt eine solche Re-Innervation bei drei Patienten mit großer Wahrscheinlichkeit, bei zwei weiteren Patienten mit gewissem Vorbehalt vermuten.

4) Aus den Beobachtungen wird gefolgert, daß die in der Literatur als präexistent beschriebenen Innervations-Anomalien teilweise als "erworbene Innervations-Anomalien" im Sinne eines Folgezustands nach Re-Innervation zu interpretieren sind.

LITERATUR - VERZEICHNIS

1. BERGMANS,J.:
Computer assisted on-line measurement of motor unit potential parameters in human electromyography
Electromyography 11, 161-181 (1971)

2. BUCHTHAL,F., C.GULD, P.ROSENFALCK:
Action potential parameters in normal human muscle and their dependence on physical variables
Acta physiol. scand. 32, 200-218 (1954)

3. BUCHTHAL,F., P.PINELLI, P.ROSENFALCK:
Action potential parameters in normal human muscle and their physiological determinants
Acta physiol. scand. 32, 219-229 (1954)

4. BUCHTHAL,F., P.ROSENFALCK:
Action potential parameters in different human muscles
Acta psychiat. scand. 30, 125-131 (1955)

5. CLARA,M.:
Das Nervensystem des Menschen, 3.Aufl.
Leipzig:Joh. Ambrosius Barth 1959

6. DENNY-BROWN,D.:
Interpretation of the electromyogram
Arch. Neurol. Psychiat. (Chic) 61, 99-128 (1949)

7. DESMEDT,J.E.:
Méthodes d'étude de la fonction neuromusculaire chez l'homme. Myogramme isométrique électromyogramme d'excitation et topographie de l'innervation terminale
Acta neurol. belg. 58, 977-1017 (1958)

8. DESMEDT,J.E., S.BORENSTEIN:
The testing of neuromuscular transmission
in: Handbook of Neurology, P.J.VINKEN and G.W.BRUYN ed
North Holland Publishing Co., Amsterdam 1970
7, chap. 4, 104-115

9. DRECHSLER,B.:
Elektromyographie
Berlin: VEB Verlag Volk und Gesundheit 1964

10. ESSLEN,E., R.MAGUN:
Elektromyographie - Grundlagen und klinische Anwendung
Fortschr. Neurol. Psychiat. 26, 153-199 (1958)

11. FEINSTEIN,B., B.LINDEGARD, E.NYMAN, G.WOHLFART:
Studies on action potentials in normal human muscles
Acta psychiat. scand. 29, 189-195 (1954)

12. GASSEL,M.M.:
Sources of error in motor nerve conduction studies
Neurology (Minneap.) 14, 825-835 (1964)

13. HARREVELD,van A.:
Re-innervation of denervated muscle fibers by adjacent functioning motor units
Amer. J. Physiol. 144, 477-493 (1945)

14. HARREVELD,van A.:
On the mechanism of the "spontaneous" re-innervation of paretic muscles
Amer. J. Physiol. 150, 670-676 (1947)

15. HARREVELD,van A.:
Re-innervation of paretic muscle by collateral branching of residual motor innervation
J. comp. Neurol. 97, 385-407 (1952)

16. HARVEY,A.M., R.L.MASLAND:
A method for the study of neuromuscular transmission in human subjects
Bull. Johns Hopk. Hosp. 68, 81-93 (1941)

17. HIGHET,W.B.:
Innervation and function of the thenar muscles
Lancet 244, Vol.1, 227-230 (1943)

18. HODES,R., M.F.LARRABEE, W.GERMAN:
The human electromyogram in response to nerve stimulation and the conduction velocity of motor axons. Studies on normal and injured peripheral nerves
Arch. Neurol. Psychiat (Chic) 60, 340-365 (1948)

19. HOFFMANN,H.:
Local re-innervation in partially denervated muscle: a histophysiological study
Aust. J. exp. Biol. med. Sci. 28, 383-397 (1950)

20. HOPF,H.C.:
Das Elektromyogramm bei Nervenreizung (Elektroneurogramm, ENG)
Fortschr. Neurol. Psychiat. 31, 585-616 (1963)

21. HOPF,H.C.:
Moderne Diagnostik peripherer Nervenkrankheiten
Münch. med. Wschr. 108, 253-259 (1966)

22. HUFSCHMIDT,H.J.:
Zur funktionellen Organisation der motorischen Einheiten eines Muskels
Dtsch. Z. Nervenheilk. 178, 583-613 (1959)

23. JARCHO,L.W., C.EYZAGUIRRE, B.BERMAN, J.L.LILIENTHAL:
Spread of excitation in skeletal muscle: some factors contributing to the form of the electromyogram
Amer. J. Physiol. 168, 446-457 (1952)

24. JASPER,H.H.:
The rate of re-innervation of muscle following nerve injuries in man as determined by the EMG
Trans. roy. Soc. Can., Sect V 40, 81-91 (1946)

25. JENSENS,P.J., R.F.MAYER:
Threshold stimulation for nerve conduction studies in man
Arch. Neurol. (Chic) 15, 410-419 (1966)

26. KOSAROV,D., A.GYDIKOV, N.TANKOV:
Vectorelectromyographic investigations of the impulses from separate motor units
Electromyography 12, 29-51 (1972)

27. KRAMER,H., G.KÜCHLER, D.BRÄUER:
Investigations of the potential distribution of activated skeletal muscles in man by means of surface electrodes
Electromyography 12, 19-27 (1972)

28. KUNZE,K., F.ERBSLÖH:
Automatic analysis of muscle action potentials and the possibility of its clinical uses
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 25, 402 (1968)

29. LICHT,S.:
Electrodiagnosis and electromyography
New Haven (Conn): E.LICHT ed. 1971

30. LUDIN,H.P.:
Elektromyographische Untersuchungen über funktionelle Gliederung motorischer Einheiten
Fortschr. Neurol. Psychiat. 29, 429-444 (1961)

31. MAGORA,A., B.GONEN:
Computer analysis of the shape of spike from electromyographic interference pattern
Electromyography 10, 261-271 (1970)

32. MAGORA,A., B.GONEN:
Computer joint analysis of frequency and duration of spike during maximal contraction of extraocular muscles
Electromyography 11, 405-411 (1971)

33. MAGORA,A., B.GONEN, H.ZAUBERMANN:
Computer analysis of some electromyographic parameters in normal extraocular muscles
Electromyography 9, 281- 296 (1969)

34. MARINACCI,A.A.:
Diagnosis of "all median hand"
Electromyography 4, 85-93 (1964)

35. MARINACCI,A.A.:
The problem of unusual anomalous innervation of hand muscles. The value of electrodiagnosis in its evaluation
Bull. Los Angeles neurol. Soc. 29, 133-142 (1964)

36. MAVOR,H., I.LIBMAN:
Motor nerve conduction velocity measurements as a diagnostic tool
Neurology (Minneap.) 12, 733-744 (1962)

37. MERTENS,H.G., G.RUEDAS:
Elektromyographische Untersuchungen bei elektrischer Nervenreizung - I. Frequenzbelastbarkeit des neuromuskulären Übergangs bei Myopathien
Dtsch. Z. Nervenheilk. 182, 577-596 (1961)

38. MURPHEY,F., J.W.KIRKLIN, A.I.FINLAYSON:
Anomalous innervation of the intrinsic muscles of the hand
Surg. Gynec. Obstet. 83, 15-23 (1946)

39. NORRIS,F.H., G.M.SHY:
The EMG - A guide and atlas for practical electromyography
New York and London: Grune and Stratton 1963

40. NORRIS,F.H., E.L.GASTEIGER:
Action potential of single motor units in normal muscle
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 7, 115-126 (1955)

41. PETERSÉN,L., E.KUGELBERG:
Duration and form of action potential in the normal human muscle
J. Neurol. Neurosurg. Psychiat. 12. 124-128 (1949)

42. PIPER,H.:
Verlauf und Theorie des Elektromyogramms der Unterarmflexoren
Pflügers Arch. ges. Physiol. 129. 145-188 (1909)

43. ROWNTREE,T.:
Anomalous innervation of the hand muscles
J. Bone Jt Surg. 31 B, 505-510 (1949)

44. SEDDON,H.J.:
Methods of investigating nerve injuries
in: Medical Research Council Special Report Series No. 282, H.J.SEDDON ed., London: H.M.Stationery Office 1954. part I, 1-16

45. SOBOTTA,J., H.BECHER:
Atlas der Anatomie des Menschen, 1. Teil, 16. Aufl. München: Urban und Schwarzenberg 1967

46. SOBOTTA,J., H.BECHER:
Atlas der Anatomie des Menschen, 3. Teil, 16. Aufl. München: Urban und Schwarzenberg 1962

47. STEINBRECHER,W.:
Elektromyographie in Klinik und Praxis
Stuttgart: Thieme 1965

48. TÖNNIS,D.:
Der Wert der Elektromyographie für die Beurteilung peripherer Nervenverletzungen
Arch. orthop. Unfall-Chir. 57, 167-189 (1965)

49. TROJABORG,W.:
Motor nerve conduction velocities in normal subjects with particular reference to the conduction in proximal and distal segments of median and ulnar nerve
Electroenceph. clin. Neurophysiol. 17, 314-321 (1964)

50. WOHLFART,G.:
Collateral regeneration from residual motor nerve fibres in amyotrophic lateral sclerosis
Neurology (Minneap.) 7, 124-134 (1957)

51. WOHLFART,G.:
Collateral regenerations in partially denervated muscles
Neurology (Minneap.) 8, 175-180 (1958)

A N H A N G

Pat.	C.M.	J.S.	T.M.	E.K.	O.B.	C.S.	B.D.	H.H.	E.F.	S.A.	H.S.	M.M.
Abl.	Medianus-Antwortpotentiale gesunde Hand (msec)											
1	9,5	9,0	9,0	8,0	6,5	7,0	6,5	9,0	6,0	10,5	8,0	9,5
2	9,5	9,5	9,5	9,5	10,0	12,5	9,0	10,0	7,0	10,5	8,5	9,0
3	9,0	9,5	11,0	8,0	10,5	9,5	7,0	9,0	6,5	10,0	10,5	5,5
4	10,5	10,0	8,0	10,0	8,5	12,0	7,5	9,0	8,0	8,5	10,0	8,5
5	11,5	9,5	8,5	9,0	6,0	-*	6,0	7,0	6,0	12,0	9,o	9,0
6	9,0	8,0	6,5	5,5	8,0	12,0	7,0	8,5	6,5	10,0	9,o	8,0
	Ulnaris-Antwortpotentiale gesunde Hand (msec)											
1	10,5	9,5	10,0	6,0	8,0	10,0	8,5	9,0	7,5	8,5	6,5	9,0
2	12,0	8,0	9,0	6,5	8,0	11,0	8,5	7,5	5,5	8,5	7,0	8,5
3	12,0	10,0	8,0	6,5	11,0	12,0	8,5	6,5	6,0	10,5	7,5	6,5
4	12,5	9,0	9,5	6,5	10,0	10,0	9,5	9,0	7,0	8,5	7,0	8,5
5	11,5	9,5	10,0	6,5	8,5	11,0	10,0	9,0	7,5	9,5	7,0	9,5
6	8,0	9,0	8,5	8,0	8,0	11,0	9,0	8,0	7,5	10,0	7,0	8,5
	Ulnaris-Antwortpotentiale kranke Hand (msec)											
1	12,0	9,0	9,0	7,0	10,0	9,5	9,0	10,0	8,5	8,0	8,5	12,0
2	12,5	8,5	9,5	8,0	9,0	7,0	10,0	8,0	8,0	6,0	9,0	9,5
3	12,5	9,0	9,5	9,5	9,5	12,0	9,5	11,5	9,5	10,5	8,5	10,0
4	11,5	8,0	9,0	7,0	9,5	7,5	9,0	10,0	8,5	7,0	9,5	9,0
5	10,0	9,0	9,0	8,5	9,0	10,0	9,5	10,0	9,0	10,0	6,5	9,5
6	11,5	9,5	8,0	7,0	10,5	9,5	8,0	11,0	8,5	9,5	8,5	9,0

Tab.4: Sämtliche 215 ausgewerteten eindimensionalen Potentialdauern (edPD);
horizontal: Patient
vertikal : Ableitung Nr.
*): 1Potential konnte hinsichtlich seiner Dauer nicht eindeutig bestimmt werden.

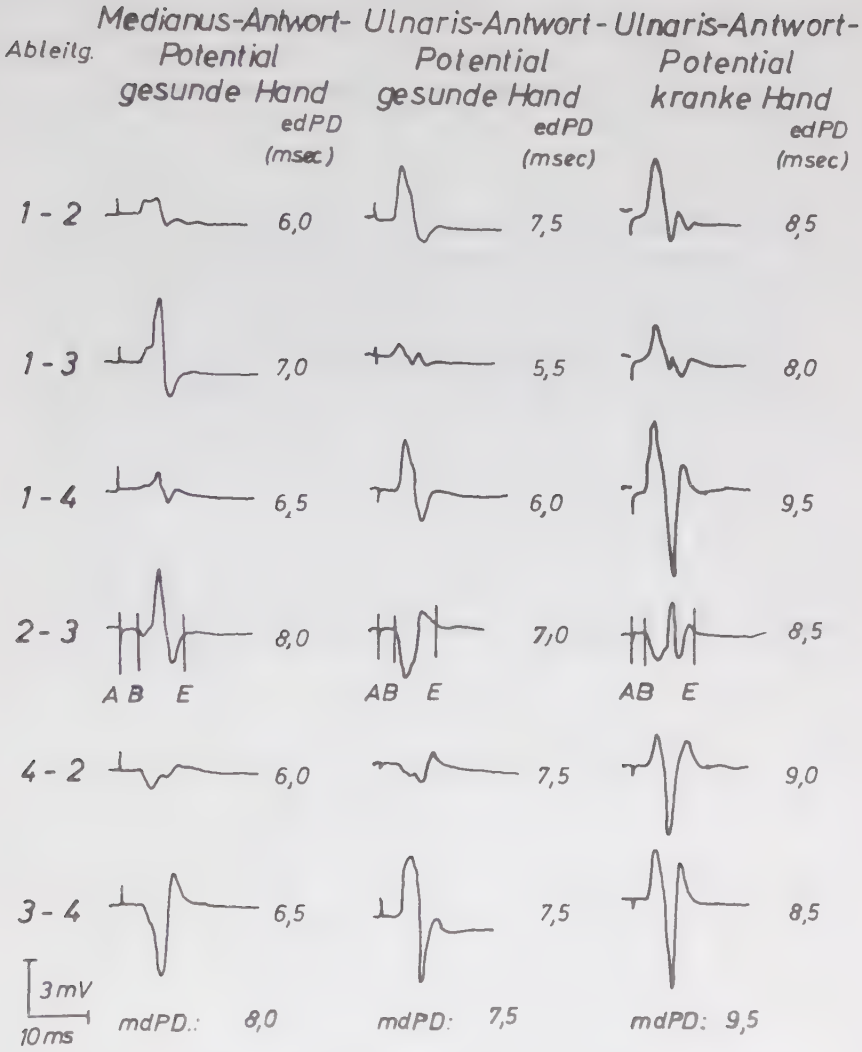

Abb.5: Beispiel für die Bestimmung von edPD und mdPD. Die eingezeichneten senkrechten Linien markieren Reizartefakt (A), Potential-Beginn (B) und Potential-Ende (E). Für jedes einzelne Potential ist die gemessene edPD angegeben, außerdem für jeweils 6 Potentiale die errechnete mdPD. (Patient E.F.).

Herrn Dr.med. P. Rohrbach danke ich für die Anregung zu dem bearbeiteten Thema, für seine freundliche Hilfestellung und die Tips, mit denen er mir jederzeit zur Seite stand.
Mein Dank gilt auch Herrn Prof.Dr.Dr. K. Mayer für seine Zustimmung und wohlwollende Unterstützung dieser Arbeit.

LEBENSLAUF

Am 8.Dezember 1944 wurde ich, Ulrich OTT, als zweites Kind des Dr.med. Heinz OTT und seiner Ehefrau Margarete in Ulm/Donau geboren. Von 1951 -1955 besuchte ich dort die Grundschule und von 1955 - 1964 das Humanistische Gymnasium, wo ich im Frühjahr 1964 die Reifeprüfung ablegte. Von 1964-1966 Wehrdienst in der Bundeswehr.
Im Sommer 1966 leistete ich ein 6-monatiges Industrie-Praktikum ab und begann darauf im Wintersemester 1966/67 das Studium der Elektrotechnik an der TH Stuttgart.
Im Wintersemester 1967/68 wechselte ich an die Universität Tübingen und nahm dort mein Medizinstudium auf. Das Vorphysikum bestand ich im September 1968, das Physikum im März 1970, beide an der Universität Tübingen. Das klinische Studium begann ich in Tübingen, im Wintersemester 1970/71 studierte ich als Stipendiat an der Faculté de Médecine de Marseille. Am 24.1.1974 beendete ich mein Studium mit der ärztlichen Prüfung an der Universität Tübingen.